

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Patent Application of:

Shigeki WATANABE

Application No.: UNASSIGNED

Group Art Unit: UNASSIGNED

Filed: June 25, 2003

Examiner:

For: METHOD AND DEVICE FOR PROCESSING AN OPTICAL SIGNAL

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN  
APPLICATION IN ACCORDANCE  
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Commissioner for Patents  
PO Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s) herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No(s). 2002-197538

Filed: July 5, 2002

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: Jul 25 2003

By: 

Gene M. Garner, II  
Registration No. 34,172

1201 New York Ave, N.W., Suite 700  
Washington, D.C. 20005  
Telephone: (202) 434-1500  
Facsimile: (202) 434-1501

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年 7月 5日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-197538

[ ST.10/C ]:

[ JP2002-197538 ]

出 願 人

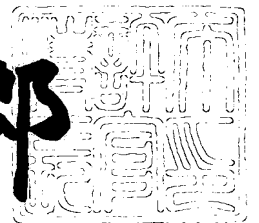
Applicant(s):

富士通株式会社

2002年12月24日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2002-3102046

【書類名】 特許願

【整理番号】 0251516

【提出日】 平成14年 7月 5日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02F 01/00

【発明の名称】 光信号を処理する方法及び装置

【請求項の数】 4

【発明者】

    【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

    【氏名】 渡辺 茂樹

【特許出願人】

    【識別番号】 000005223

    【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100075384

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 松本 昂

    【電話番号】 03-3582-7477

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 001764

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

    【物件名】 図面 1

    【物件名】 要約書 1

    【包括委任状番号】 9704374

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光信号を処理する方法及び装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光信号を処理する方法であって、

(a) 信号光を第 1 の非線形光学媒質に入力し、第 1 の非線形光学媒質内で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大するステップと、

(b) 前記処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償するステップと

(c) 前記ステップ (a) 及び (b) を経た信号光を第 2 の非線形光学媒質に入力し、第 2 の非線形光学媒質内で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大するステップとを備えた方法。

【請求項 2】 光信号を処理する装置であって、

信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第 1 の非線形光学媒質と、

前記処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償する分散補償器と、

前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第 2 の非線形光学媒質とを備えた装置。

【請求項 3】 信号光を第 1 及び第 2 の信号光に分ける光カプラと、

前記第 1 の信号光に基きクロックパルスを生成する光クロック再生器と、

前記クロックパルス及び前記第 2 の信号光が入力され、これらの同期した信号光を出力する光 AND 回路と、

前記光 AND 回路から出力された信号光が入力する光信号処理装置とを備え、

前記光信号処理装置は、

前記信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第 1 の非線形光学媒質と、

処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償する分散補償器と、

前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第 2 の非線形光学媒質と、

前記第 2 の非線形光学媒質から出力された信号光が入力され、前記拡大されたスペクトルの中心波長と異なる中心波長の通過帯域を有する光帯域通過フィルタとを備えている装置。

【請求項 4】 信号光を伝送する第 1 の光ファイバ伝送路と、

前記第 1 の光ファイバ伝送路により伝送された信号光が入力する光信号処理装置と、

前記光信号処理装置から出力された信号光を伝送する第 2 の光ファイバ伝送路とを備え、

前記光信号処理装置は、

前記信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第 1 の非線形光学媒質と、

処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償する分散補償器と、

前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第 2 の非線形光学媒質と、

前記第 2 の非線形光学媒質から出力された信号光が入力され、前記拡大されたスペクトルの中心波長と異なる中心波長の通過帯域を有する光帯域通過フィルタとを備えている装置。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光信号を処理する方法及び装置に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

高いパワーレベルの光パルスが光ファイバ等の非線形光学媒質に入射することにより、スーパーコンティニューム（SC）光と呼ばれるスペクトルが拡大した光を発生することができる。SC 光は、従来、多波長光源への応用が活発に検討されてきたが、多波長光源以外にも、多波長光クロック再生、波長変換、分配等への応用も可能である。

【 0 0 0 3 】

SC光を発生させるためには、繰り返し時間 $t_0$ の光クロックパルス又はデータ変調された光パルス列を光ファイバに入力する。この場合、周波数間隔 $f = 1/t_0$ の連続波(CW)光により構成される帯域スペクトルを有するSC光が発生する。このSC光の各CW光を狭帯域光帯域通過フィルタで抽出することにより、多波長のCW光源を構成する事ができる。一方、複数のCW光を透過可能な光帯域通過フィルタを用いることにより、繰り返し時間 $t_0$ の多波長光クロックパルスを発生することができる。また、データ変調された光パルス列を光ファイバに入力してSC光を発生させた場合には、同じように光帯域通過フィルタを用いることにより、例えばデータ信号光の波長変換光を発生することができる。尚、発生する光クロックあるいは波長変換光のパルス幅は、用いる光帯域通過フィルタの通過帯域で制御することができる。

## 【 0 0 0 4 】

従来、SC光の発生には、必要となる3次非線形効果を発生するのに必要な長さを有する光ファイバが用いられていた。スペクトルをできるだけ拡大するためには、僅かな異常分散のファイバや分散フラットファイバ等が用いられ、スペクトルを拡大しつつ十分な信号対雑音比(S/N比)を確保するためには、僅かな正常分散のファイバ等が用いられていた。

## 【 0 0 0 5 】

## 【発明が解決しようとする課題】

SC光は非線形光学媒質としての光ファイバ内における自己位相変調(SPM)を用いて発生させるので、光パルスとしてはスロープが急峻な短パルスが適している。しかしながら、パルス幅が狭くなるほど分散の影響が顕著になり、SC光を発生させる光ファイバの長さ全体に渡って最適なパルス形状を維持することが困難になってくる。このため、SC光を発生可能なファイバの長さに制限が出て、ひいてはスペクトル拡大率が制限される。

## 【 0 0 0 6 】

光ファイバ内でパルス形状を保つ方法として、パワーの減衰に合わせて異常分散領域で分散を低減するようにした分散漸減ファイバ(Dispersion Decreasing Fiber:DDF)を用いる方法がある。しかし、こ

の場合、ファイバの設計及び製造が難しい上、光パワーも特定の値に維持する必要があり、現実的ではない。

【 0 0 0 7 】

より現実的な S C 光の発生方法として、正常分散の光ファイバを用いるものがある。この場合、S P M によるチャープの符号が光パルスの前後で反対になるので、分散によりパルスが矩形状に変化し、スペクトルも矩形状に拡大し、S / N 比を良好に保つことができる。しかし、異常分散ファイバを用いる場合に比べてスペクトルの拡大率は制限されるので、正常分散ファイバを用いて S / N 比を保ちつつよりスペクトルの拡大率が大きい S C の発生のための方法が求められている。

【 0 0 0 8 】

よって、本発明の目的は、高い S / N 比及び大きいスペクトル拡散率を得ることができる S C 光の発生に適した光信号の処理方法及び装置を提供することである。

【 0 0 0 9 】

本発明の他の目的は以下の説明から明らかになる。

【 0 0 1 0 】

【課題を解決するための手段】

本発明の第 1 の側面によると、光信号を処理する方法であって、(a) 信号光を第 1 の非線形光学媒質に入力し、第 1 の非線形光学媒質内で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大するステップと、(b) 前記処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償するステップと、(c) 前記ステップ (a) 及び (b) を経た信号光を第 2 の非線形光学媒質に入力し、第 2 の非線形光学媒質内で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大するステップとを備えた方法が提供される。

【 0 0 1 1 】

本発明の第 2 の側面によると、光信号を処理する装置であって、信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第 1 の非線形光学媒質と、前記処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償

する分散補償器と、前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第2の非線形光学媒質とを備えた装置が提供される。

## 【 0 0 1 2 】

本発明の第3の側面によると、信号光を第1及び第2の信号光に分ける光カプラと、前記第1の信号光に基きクロックパルスを生成する光クロック再生器と、前記クロックパルス及び前記第2の信号光が入力され、これらの同期した信号光を出力する光AND回路と、前記光AND回路から出力された信号光が入力する光信号処理装置とを備えた装置が提供される。前記光信号処理装置は、前記信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第1の非線形光学媒質と、処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償する分散補償器と、前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第2の非線形光学媒質と、前記第2の非線形光学媒質から出力された信号光が入力され、前記拡大されたスペクトルの中心波長と異なる中心波長の通過帯域を有する光帯域通過フィルタとを備えている。

## 【 0 0 1 3 】

本発明の第4の側面によると、信号光を伝送する第1の光ファイバ伝送路と、前記第1の光ファイバ伝送路により伝送された信号光が入力する光信号処理装置と、前記光信号処理装置から出力された信号光を伝送する第2の光ファイバ伝送路とを備えた装置（システム）が提供される。前記光信号処理装置は、前記信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第1の非線形光学媒質と、処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償する分散補償器と、前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第2の非線形光学媒質と、前記第2の非線形光学媒質から出力された信号光が入力され、前記拡大されたスペクトルの中心波長と異なる中心波長の通過帯域を有する光帯域通過フィルタとを備えている。

## 【 0 0 1 4 】

## 【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して、本発明の望ましい実施形態を詳細に説明する。全図を通して実質的に同一又は類似の部分には同一の符号が付されている。

## 【0015】

図1は本発明による装置の第1実施形態を示すブロック図である。この装置に入力した波長 $\lambda_s$ の信号光（入力パルス）は、先ず光増幅器2により適切なパワーに増幅された後、第1の非線形光学媒質としての光ファイバ4に入力される。光ファイバ4はここでは正常分散（ $\beta_2 > 0$ ）を有しており、この波長分散により、光ファイバ4内で信号光のパルス形状が変化する。具体的にはパルス幅が時間軸上で拡大される。これと同時に、光ファイバ4内で信号光は自己位相変調（SPM）によりそのスペクトルが波長軸上で拡大される。

## 【0016】

パルス形状及びスペクトル形状が変化した信号光は、次に分散補償器6に入力され、光ファイバ4と逆符号の異常分散（例えば $-\beta_2$ ）を与えられる。これにより、スペクトル形状は維持したまま、パルス形状がもとに戻る。

## 【0017】

分散補償器6としては、分散補償ファイバ、ファイバグレーティングその他を用いることができる。ここでは、分散補償器6は光ファイバ4の下流側に設けられているが、光ファイバ4と光増幅器2の間あるいは光増幅器2の上流側に分散補償器6が設けられていても良い。

## 【0018】

分散補償器6から出力されたパルス形状のもとに戻った信号光は、第2の非線形光学媒質としての光ファイバ8に入力する。光ファイバ8は光ファイバ4と同じく正常分散（ $\beta_2' > 0$ ）を有しており、光ファイバ8内における信号光のチャープによりスペクトルが所望の幅まで拡大される。

## 【0019】

このように、本実施形態によると、分散補償器6を用いて一旦パルス形状をもとに戻すことと、二つの非線形光学媒質（光ファイバ4及び8）によるスペクトルを拡大することとを組み合わせているので、単に二つの非線形光学媒質により

スペクトルを拡大する場合と比較して、その拡大率が効果的に大きくなる。

#### 【 0 0 2 0 】

尚、光増幅器 2 を設けているのは、光ファイバ 4 に入力する信号光のパワーを十分に大きくして、光ファイバ 4 の内部において所要の非線形効果（例えば 3 次の非線形効果）を得るためである。

#### 【 0 0 2 1 】

図 2 は本発明による装置の第 2 実施形態を示すブロック図である。ここでは、図 1 に示される分散補償器 6 に代えて、波形等価器 1 0 が用いられている。波形等価器 1 0 は、例えば、光ファイバ 4 内での非線形光学効果のために波長分散による波形歪が無視できない場合に、このような波形歪を除去するように機能する。これにより、光ファイバ 8 内で信号光のチャープを生じさせるため大きな非線形光学効果を生じさせることができ、スペクトルを有効に拡大することができる。

#### 【 0 0 2 2 】

S P Mによるチャープを効果的に発生させるためには、波長に依存しない小さな正常分散を与える分散フラットファイバ（D F F）を用いたり、光ファイバの  $\gamma$  値を大きくすることが有効である。D F Fは例えばコア径や比屈折率差を適切に制御することにより得ることができる。一方、光ファイバの  $\gamma$  は、

$$\gamma = \omega n_2 / c A_{\text{eff}}$$

で表される。ここに、 $\omega$  は光角周波数、 $c$  は真空中の光速を表し、 $n_2$  と  $A_{\text{eff}}$  はファイバの非線形屈折率と有効コア断面積をそれぞれ表す。従来の D S F（分散シフトファイバ）の非線形係数は  $\gamma = 2.6 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$  程度と小さいので、十分なチャープを得るためには数  $\text{km} \sim 10 \text{ km}$  以上の長さが必要であった。より短尺で十分大きなチャープを発生するためには、上式において  $n_2$  を大きくするかモード・フィールド径（M F D）、従って  $A_{\text{eff}}$  を小さくして光強度を高くするのが有効である。 $n_2$  を大きくする手段としては、クラッドにフッ素等を添加し、コアに  $\text{GeO}_2$  等をかなり高濃度に添加するなどの方法がある。 $\text{GeO}_2$  の添加濃度が 25 ～ 30 mol % の場合で  $5 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$  以上の大きな  $n_2$  値が得られている（通常のシリカファイバでは  $n_2 \sim 3.2 \times 10^{-20} \text{ m}^2/\text{W}$ ）。一方、M

F D を小さくすることは、コアとクラッドの比屈折率差やコア形状の設計により可能である。上記  $\text{GeO}_2$  添加ファイバにおいて比屈折率差  $\Delta$  が 2.5 ~ 3 % 程度の場合に、 $\text{MFD} \sim 4 \mu\text{m}$  程度のものが得られている。これらの効果の総合効果として  $15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$  以上の大きな  $\gamma$  値のファイバが得られている。

## 【 0 0 2 3 】

また、分散長を非線形長に比べて十分長くしたり、チャープ補償をするためには、こうしたファイバの G V D を任意に調整可能であることが望まれる。この点に関しても上記パラメータを以下のように設定することにより可能である。先ず、通常の D C F において、一般に M F D を一定にした条件で  $\Delta$  を大きくすると分散値は正常分散領域で大きくなる。一方、コア径を大きくすると分散は減少し、逆にコア径を小さくすると分散は大きくなる。従って、与えられた波長帯において M F D をある値に設定した状態で、コア径を大きくしていくと分散を零とすることが可能となる。逆に所望の正常分散ファイバを得ることも可能である。

## 【 0 0 2 4 】

このような方法により、 $\gamma = 15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$  以上の高非線形分散シフトファイバ (H N L - D S F) や D C F (分散補償ファイバ) が実現している。例えば、 $\gamma = 15 \text{ W}^{-1} \text{ km}^{-1}$  のファイバは通常の D S F に比べて 2.6 / 1.5 ~ 1 / 5.7 程度の長さで同じ効率を達成可能である。上記のように通常の D S F では 10 km 程度の長さが必要であるが、このようなファイバでは 1 ~ 2 km 程度の長さで同様の効果が達成できる。実際には、短くなる分損失が少なくなるから更に短い長さでよい。

## 【 0 0 2 5 】

尚、非線形光学媒質用の光ファイバとしては、上述のようにして得られた高非線形ファイバの他にフォトニック結晶ファイバ (H o l e y F i b e r) も適している。

## 【 0 0 2 6 】

図 3 は本発明による装置の第 3 実施形態を示すブロック図である。この実施形態では、光ファイバ 8 によってスペクトルが拡大された信号光が入力する光帯域通過フィルタ (B P F) 1 2 が付加的に設けられている。光帯域通過フィルタ 1

2は光ファイバ8により拡大されたスペクトルよりも狭い通過帯域を有しており、その通過帯域の中心波長 $\lambda_c$ は、ここでは信号光の中心波長 $\lambda_s$ と異なるように設定されている。光帯域通過フィルタ12の使用により得られる雑音の抑圧等の原理を以下に説明する。

#### 【0027】

非線形光学媒質に光パルスが入力すると、SPMによるチャープングが発生して、スペクトルが拡大する。図3（図1及び図2も同様）の上部に示されているように、波長 $\lambda_s$ の信号光が光ファイバ4及び8を通過することによって、信号光のスペクトルが中心波長 $\lambda_s$ を中心として拡大されていることがわかる。そして、この拡大されたスペクトルの範囲内で波長 $\lambda_s$ と異なる $\lambda_c$ を中心波長とする通過帯域を有する光帯域通過フィルタ12により信号成分を抽出する。

#### 【0028】

このとき、通常は一定であるはずの信号光の振幅が伝送等による歪のためにパルス毎に異なる場合でも（振幅揺らぎあるいは振幅雑音）、チャープングが発生する範囲ではスペクトルが一定となるため、振幅揺らぎを抑圧することが可能である。即ち、波形整形の機能が得られているのである。

#### 【0029】

更に詳しく説明すると、光帯域通過フィルタ12ではチャープングの小さな成分が除去される。チャープングの小さな成分には、主にオフパワー（0符合）成分の零点からの変動分（例えばGVDによる波形劣化）やパルスのピーク付近のスロープの小さな成分が含まれる。これらの成分は光信号対雑音比（OSNR）を決定付けるものであるので、この部分を光帯域通過フィルタ12により除去することにより、これらの成分のパワー変動、消光比劣化、雑音累積等によるOSNRの低下を改善することができる。従って、本発明により、OSNRの改善を伴う波長変換が可能になる。

#### 【0030】

光帯域通過フィルタ12の通過帯域の中心波長 $\lambda_c$ は、雑音を含むチャープの小さい成分が出力信号パルスに含まれないように、信号光の中心波長 $\lambda_s$ から十分に離しておくことが望ましい。また、光帯域通過フィルタ12の通過帯域の幅

及び形状は、必要とされるパルスの幅及び形状に応じて適宜設定しておくことが望ましい。基本的には、入力信号パルスのスペクトル形状とほぼ等しく設定される。より特定のには次の通りである。

## 【 0 0 3 1 】

光帯域通過フィルタ 1 2 の通過帯域が、スペクトルが拡大された信号光（「S C 光」と称することがある。）を構成する光キャリアの各成分を抽出可能なだけ十分狭いものである場合には、C W 光を生成可能である。一方、同通過帯域が複数の光キャリアに渡る広さを有するものである場合には、入力信号パルスと同期した光パルス列を生成可能である。即ち、入力信号パルスの波長変換光を生成可能である。このときに生成される光パルスの形状及び時間幅は、光帯域通過フィルタ 1 2 の通過帯域幅及びその形状により決定される。従って、図 1 や図 2 の実施形態では、光ファイバ 8 の出力パルスは光ファイバ 8 に入力したパルスの時間幅よりも広くなるが、図 3 の実施形態や後で述べる図 4 の実施形態では、パルスの時間幅は広がらない。

## 【 0 0 3 2 】

このように、本実施形態によると、高い S / N 比及び大きいスペクトル拡散率を得ることができる S C 光の発生方法を通して、高品質な光信号の処理が可能になる。

## 【 0 0 3 3 】

図 4 は本発明による装置の第 4 実施形態を示すブロック図である。図 3 に示される実施形態では、一つの通過帯域を有する光帯域通過フィルタ 1 2 が用いられている。これに対して、本実施形態では、複数の通過帯域を有する光帯域通過フィルタ 1 4 が用いられている。複数の通過帯域のそれぞれの中心波長は  $\lambda_{C1}$ ,  $\lambda_{C2}$ ,  $\dots$ ,  $\lambda_{CN}$  であり、これらは望ましくは信号光の中心波長  $\lambda_S$  とは異なる。

## 【 0 0 3 4 】

光帯域通過フィルタ 1 4 としては、多層膜フィルタあるいはファイバグレーティングを複数用いて構成されるものを使用することができる他、アレイ導波路グレーティング等も使用可能である。

## 【 0 0 3 5 】

この実施形態においても、光帯域通過フィルタ 1 4 の各通過帯域が、S C 光を構成する光キャリアの各成分を抽出可能なだけ十分狭いものである場合には、C W 光を生成可能である。一方、各通過帯域が複数の光キャリアに渡る広さを有するものである場合には、入力信号パルスと同期した光パルス列を生成可能である。即ち、入力信号パルスの波長変換光を複数生成可能である。このときに生成される光パルスの形状及び時間幅は、光帯域通過フィルタ 1 4 の各通過帯域幅及びその形状により決定される。

## 【 0 0 3 6 】

本実施形態によっても、高い S / N 比及び大きいスペクトル拡散率を得ることができる S C 光の発生方法を通して、高品質な光信号の処理が可能になる。また、この装置を光源装置として用いることにより、一つの光源からの光を基に波長が異なる複数の光キャリアあるいは光信号を得ることができる。

## 【 0 0 3 7 】

図 5 は本発明による装置の第 5 実施形態を示すブロック図である。この装置は、光増幅器 2 2、光カプラ 2 4、波形整形器 2 6、光クロック再生器 2 8、光 A N D ゲート 3 0、及び波長変換器 3 2 を備えている。

## 【 0 0 3 8 】

波形整形されるべき波長  $\lambda_S$  の光信号（入力信号光）は、光増幅器 2 2 によって増幅された後に光カプラで第 1 及び第 2 の光信号に分岐される。第 1 の光信号は波形整形器 2 6 に供給され、第 1 の光信号のパルス幅を拡大して得られた波形整形光（波長  $\lambda_S$ ）が波形整形器 2 6 から出力される。

## 【 0 0 3 9 】

第 2 の光信号は光クロック再生器 2 8 に供給され、第 2 の光信号に基いて波長  $\lambda_P$  のプローブ光としてのクロックパルスが生成される。波形整形光及びクロックパルスは光 A N D ゲート 3 0 に供給され、波形整形光及びクロックパルスが共に存在する時間に同期して波長  $\lambda_P$  の変換光信号（変換信号光）が光 A N D ゲート 4 から出力される。変換信号光は波長変換器 6 でその波長を  $\lambda_C$ （望ましくは  $\lambda_C = \lambda_S$ ）に変換されて再生光が得られる。

## 【 0 0 4 0 】

光クロック再生器 28 は、時間的な間隔が乱れた信号光から基準時間間隔のクロックパルスを再生するたものものである。例えば、 $160\text{Gb/s}$  の信号光の場合であれば、 $6.25\text{ps}$  間隔に並んだ  $160\text{GHz}$  のパルス列を再生する。 $O/E$  変換した後電氣的にタイミング再生し、その電氣的な RF 信号を用いてモードロックレーザー (MLL) を発振させる方法や、電気への変換なしに直接 MLL を発振させる方法等を用いることができる。

## 【0041】

但し、 $160\text{Gb/s}$  のような高速信号の場合にはエレクトロニクスの動作速度限界を超えており、また、こうした速度で動作する MLL の実現も困難である。従って、より低速の例えば  $10\text{GHz}$  のパルス列を再生した後、その OTDM (光時分割多重) により  $160\text{GHz}$  のクロックパルスを生成するのが望ましい。

## 【0042】

図 6 は図 5 に示される光クロック再生器 28 の実施形態を示すブロック図である。このクロック再生器は、入力ポート 38 及び出力ポート 40 間に設けられる光パス 42 と、光パス 42 に光学的に結合される (例えば方向性結合される) 光ループ 43 を含む能動リングレーザー 44 とを備えている。

## 【0043】

入力ポート 38 には波長  $\lambda_s$ 、速度  $f_s$  の信号光 (第 2 の光信号) が供給される。能動リングレーザー 44 は、光ループ 43 でレーザー発振が生じるように光ループ 43 の損失を補償する光増幅器 46 と、速度 (又は周波数)  $f_s$  が光ループ 43 の周回周期の逆数の整数倍になるように光ループ 43 の光路長を調節する調節器 48 と、信号光に基きレーザー発振をモードロックするための光変調器 (又は非線形光学媒質) 50 とを含む。能動リングレーザー 44 はレーザー発振の波長  $\lambda_p$  を含む通過帯域を有する光帯域通過フィルタ 45 を更に含んでも良い。

## 【0044】

この構成によると、能動リングレーザー 44 のレーザー発振がモードロックされる結果、波長  $\lambda_p$ 、周波数  $f_s$  のクロックパルスが発生し、そのクロックパルスが出力ポート 40 から出力される。従って、光/電気変換を行なうことなしにクロッ

クパルスを得ることができ、信号光の速度やパルス形状等に依存しない全光クロック再生器の提供が可能になる。

【 0 0 4 5 】

光変調器 5 0 としては、 $\text{LiNbO}_3$  強度変調器や EA（電界吸収）型変調器等の電気／光変調器を用いることができるほか、二次若しくは三次の非線形光学効果或いは相互利得変調等によるものを用いることができる。例えば、光ファイバ内の四光波混合を用いる場合であれば、信号光の波長  $\lambda_s$  をファイバの零分散波長付近の波長に設定して連続発振光に効果的に AM 変調をかけ、これによりクロックパルスを発生可能である。一方、半導体光アンプ（SOA）を用いる場合には、信号光をポンプ光として用いることができる。更に、発振状態の DFB-LD 内の四光波混合を用いる場合には、信号光の波長を DFB-LD の発振光とは異なる波長に設定し、この信号光を比較的高いパワーで入力することにより利得飽和を起こし、これにより四光波混合の効率に変調をかけると共に、相互利得変調（XGM）効果により連続発振光に有効に AM 変調をかけることができる。XGM については、SOA 内の四光波混合を用いる場合にも発生するので、これを積極的に用いても良い。

【 0 0 4 6 】

また、2 次の非線形光学効果の場合にも、信号光をポンプ光として用いれば、ほぼ同じ効果を得ることができる。一方、相互位相変調（XPM）を用いる場合には、例えば位相変調による偏波状態の変動を用いて AM 変調を発生させることができる。

【 0 0 4 7 】

波形整形器 2 6 は光パルスのジッタを抑圧するためのものである。その動作原理を理解する上で、こうした波形整形を行わない場合について考察する。信号光は時間的な乱れを含んでいるから、光 AND ゲート 4 においてクロックパルスと同期する部分と多少ずれる部分が存在する。例えば、光 AND ゲート 4 として NOLM（非線形光ループミラー）のような高速光スイッチを用いる場合には、前述の時間的なずれにより、得られる変換光の振幅が一定でなくなる。従って、時間的なずれの原因がジッタのような雑音的なものであると、変換光には振幅雑音

が付加されてしまう。

【 0 0 4 8 】

そこで、本実施形態では、こうした雑音の付加を回避するために、光ANDゲート4に入力する信号光のパルス形状を矩形化している。これにより、この矩形パルスの幅の中では常にクロックパルスとの光AND動作が可能になるので、上述のような振幅雑音の付加を抑えることができ、その結果、ジッタ等の雑音を抑圧することができる。

【 0 0 4 9 】

図7は図5に示される波形整形器26の実施形態を示すブロック図である。非線形光学効果を提供する光導波構造54として、光ファイバ56が用いられている。光ファイバ56のGVD（群速度分散）は $\beta_2$ であり、光ファイバ56は例えば供給された光信号に正常分散及び3次の非線形光学効果を与える。

【 0 0 5 0 】

中心波長 $\lambda_s$ を有する入力パルス（第1の光信号）は、光増幅器52により所要のチャープングを発生させるのに十分な程度のパワーまで増幅された後、光ファイバ56に入力される。光ファイバ56内においては、SPM（自己位相変調）によりチャープングが発生し、スペクトルが拡大（拡散）される。

【 0 0 5 1 】

光ファイバ56内においては、SPM（自己位相変調）によりチャープし、光パルスの立上がり部では長波長側へのシフトが発生し、一方、光パルスの立下り部では短波長側へのシフトが発生する。例えば、用いる光ファイバが正常分散ファイバの場合には、波長が長いほど群速度が大きくなるため、上記チャープにより光パルスの幅は広がる。矩形状に広げるためには、短い長さで急激に波形が変化するように用いる光ファイバの分散値を適度に大きくし、そのような光ファイバに立上がり／立下りの傾斜ができるだけ急峻な光パルスを高いパワーで入力すればよい。

【 0 0 5 2 】

実際には、3次の非線形効果が有限であるため、ある程度の長さが必要であり、上記チャープに起因するパルス広がり以外にも、波長分散だけに起因するパル

ス広がり特に比較的非線形効果の小さな光パルスの裾部分で発生する。このような場合には、波長分散に起因する広がり分を補償して所望の形状に近い光パルスを得るために、光ファイバの出力端に分散補償器を配置するとよい。例えば、逆符号の分散を有する光ファイバ等を配置することにより、効果的に分散を補償することができる。尚、光ファイバの分散値や補償量については、入力光パルスや用いる光ファイバ等の条件により、適宜調整することができる。

## 【 0 0 5 3 】

尚、この正常分散ファイバを用いた矩形パルスの生成方法に関する付加的な詳細は、例えば特願 2 0 0 0 - 3 4 4 5 4 に記載されている。また、図 6 により説明した正常分散領域で光ファイバを用いて矩形パルスを得る方法以外には、例えば、ファイバグレーティングを用いる方法、光パルスを直交 2 偏波に分けて時間的な遅延をさせた後に加え合わせる方法等もある。

## 【 0 0 5 4 】

図 8 を参照すると、本発明に適用可能な N O L M（非線形光ループミラー）の構成が示されている。この N O L M は図 5 に示される光 A N D ゲート 3 0 として用いることができる。

## 【 0 0 5 5 】

この N O L M は、方向性結合される第 1 及び第 2 の光路 6 2 及び 6 4 を含む第 1 の光カプラ 6 6 と、第 1 及び第 2 の光路 6 2 及び 6 4 を接続するループ光路 6 8 と、ループ光路 6 8 に方向性結合される第 3 の光路 7 0 を含む第 2 の光カプラ 7 2 とを備えている。

## 【 0 0 5 6 】

ループ光路 6 8 の一部または全部は非線形光学媒質 N L によって提供されている。第 1 の光カプラ 6 6 のカップリング比は実質的に 1 : 1 に設定される。

## 【 0 0 5 7 】

この N O L M の動作を簡単に説明すると、波長  $\lambda_p$  を有するプローブ光（クロックパルス）が光カプラ 6 6 の第 1 の光路 6 2 に入力され、波長  $\lambda_s$  を有する光信号が光カプラ 7 2 の第 3 の光路 7 0 に入力されたときに、波長  $\lambda_p$  を有する変換光信号が光カプラ 6 6 の第 2 の光路 6 4 から出力されるというものである。

## 【 0 0 5 8 】

プローブ光は、光カプラ 6 6 によりパワーが等しい 2 成分に分けられ、これら 2 成分は、ループ光路 6 8 をそれぞれ時計回り及び反時計回りに厳密に同一光路長で伝搬し、非線形光学媒質 NL により共に等しい位相シフト  $\phi$  を受けた後、光カプラ 6 6 により合成される。光カプラ 6 6 における合成に際して、2 成分のパワーは等しく位相も一致しているので、合成により得られた光はあたかもミラーにより反射されるがごとく第 1 の光路 6 2 から出力され、ポート 6 4 からは出力されない。

## 【 0 0 5 9 】

ループ光路 6 8 の途中から光カプラ 7 2 により光信号が入力されると、この光信号はループ光路 6 8 の一方向（図では時計回り）にだけ伝搬し、この方向に伝搬する光に対しては、オンパルスが通るときだけ非線形光学媒質 NL の非線形屈折率が変化する。従って、プローブ光の 2 成分が光カプラ 6 6 で合成されるに際して、光信号のオフパルスと同期した部分のプローブ光の 2 成分の位相は一致するが、光信号のオンパルスと同期した部分のプローブ光の 2 成分の位相は異なる。その位相差を  $\Delta \phi$  とすると、光カプラ 6 6 の第 2 の光路 6 4 には  $\{1 - \cos(\Delta \phi)\} / 2$  に比例する出力が得られる。

## 【 0 0 6 0 】

今、位相差が  $\pi$  になるように入力光信号のパワーを設定すれば、オンパルスのときに合成された 2 成分が第 2 の光路 6 4 だけから出力されるようなスイッチ動作が可能になる。このようにして、波長  $\lambda_s$  の光信号から波長  $\lambda_c$  の変換光信号への変換が行なわれる。即ち、光信号のデータに関して波長変換が行なわれていることになる。

## 【 0 0 6 1 】

非線形光学効果として光カー効果（光信号とプローブ光による相互位相変調（XPM））を用いるとすると、位相シフト  $\Delta \phi$  は  $\gamma P L$  に比例する。ここに  $\gamma$  は非線形光学媒質 NL の非線形係数、 $P$  は非線形光学媒質 NL 内における光パワー、 $L$  は非線形光学媒質 NL における光カー効果の相互作用長である。

## 【 0 0 6 2 】

尚、ここでは波長が異なる場合における光AND動作について説明したが、図1の実施形態はこれに限定されるものではない。

【0063】

また、光ANDゲート30としては、マッハツェンダ干渉器型の光ゲートや四光波混合、差周波生成等を用いた光ミキシング型のスイッチ等を用いることもできるし、相互位相変調を用いた光ANDゲートや光／電気／光変換装置も利用可能である。

【0064】

このように、本実施形態では、光ANDゲートの前段において、伝送路からの入力信号光パルス幅を大きくする波形整形（具体的には入力信号光の1タイムスロット以下で隣接パルスに対するクロストークが生じない範囲にパルス幅を広げる制御）を行うことにより、光ANDゲートで再生した光クロックパルスにより伝送路からの入力信号光パルスとのANDをとるときの位相ジッタを解決しているのである。

【0065】

ところで、全光再生中継器に必要な機能は、振幅再生又はリアンプリフィケーション（Reamplification）と、タイミング再生又はリタイミング（Retiming）と、波形整形又はリシェイピング（Reshaping）とである。本発明は、これらの機能に着目して、光ファイバ等の光導波構造内を光パルスが伝搬する際に受ける自己位相変調（SPM）効果によるチャープングを用いて、光通信システムにおける全光再生中継器や光ネットワークの各種ノードポイントにおける信号再生器等をも可能にする。

【0066】

図9を参照すると、本発明が適用される光ファイバ伝送システムが示されている。送信機82からの信号光を第1の光ファイバ伝送路84により伝送し、この伝送された信号光を本発明による装置86で処理した後、得られた再生光を第2の光ファイバ伝送路88により受信機90に向けて更に伝送するものである。

【0067】

本発明による装置86での処理の結果、信号光に関する波形整形等が可能であ

る。即ち、第 1 の光ファイバ伝送路 8 4 での伝送により品質が劣化した信号光を本発明による装置 8 6 で光 3 R 再生することにより品質が改善され、伝送処理の拡張が可能になる。

【 0 0 6 8 】

図示はしないが、光ファイバ伝送路 8 4 及び／又は 8 8 に沿って単一又は複数の光増幅器を配置して、損失を補償するようにシステムを構成してもよい。

【 0 0 6 9 】

本発明は以下の付記を含むものである。

【 0 0 7 0 】

(付記 1) 光信号を処理する方法であって、

(a) 信号光を第 1 の非線形光学媒質に入力し、第 1 の非線形光学媒質内で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大するステップと、

(b) 前記処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償するステップと

(c) 前記ステップ (a) 及び (b) を経た信号光を第 2 の非線形光学媒質に入力し、第 2 の非線形光学媒質内で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大するステップとを備えた方法。

【 0 0 7 1 】

(付記 2) 前記第 1 及び第 2 の非線形光学媒質の各々は光ファイバである付記 1 記載の方法。

【 0 0 7 2 】

(付記 3) 前記光ファイバは正常分散を提供する付記 2 記載の方法。

【 0 0 7 3 】

(付記 4) 前記ステップ (b) は前記光ファイバで生じる波長分散を補償することを含む付記 2 記載の方法。

【 0 0 7 4 】

(付記 5) 前記第 1 の非線形光学媒質及び／又は前記第 2 の非線形光学媒質に入力する信号光を増幅する光増幅器を提供するステップを更に備えた付記 1 記載の方法。

【 0 0 7 5 】

(付記 6) 前記ステップ (b) は前記光増幅器で生じる波長分散を補償することを含む付記 5 記載の方法。

【 0 0 7 6 】

(付記 7) 前記ステップ (c) でスペクトルが拡大された信号光を通過させる光帯域通過フィルタを提供するステップを更に備えた付記 1 記載の方法。

【 0 0 7 7 】

(付記 8) 前記光帯域通過フィルタは前記拡大されたスペクトルより狭い通過帯域を有している付記 7 記載の方法。

【 0 0 7 8 】

(付記 9) 前記通過帯域の中心波長は前記信号光の波長とは異なり、それにより前記信号光の波形が改善される付記 8 記載の方法。

【 0 0 7 9 】

(付記 10) 前記通過帯域は前記スペクトルが拡大された信号光から光キャリアを抽出する程度に狭い付記 8 記載の方法。

【 0 0 8 0 】

(付記 11) 前記通過帯域は前記スペクトルが拡大された信号光からそのパルス列に同期したパルス列を抽出する程度に広い付記 8 記載の方法。

【 0 0 8 1 】

(付記 12) 前記通過帯域は複数ある付記 8 記載の方法。

【 0 0 8 2 】

(付記 13) 光信号を処理する装置であって、  
信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第 1 の非線形光学媒質と、

前記処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償する分散補償器と、

前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第 2 の非線形光学媒質とを備えた装置。

【 0 0 8 3 】

(付記 1 4) 前記第 1 及び第 2 の非線形光学媒質の各々は光ファイバである付記 1 3 記載の装置。

【 0 0 8 4 】

(付記 1 5) 前記光ファイバは正常分散を提供する付記 1 4 記載の装置。

【 0 0 8 5 】

(付記 1 6) 前記分散補償器は前記光ファイバで生じる波長分散を補償する手段を含む付記 1 4 記載の装置。

【 0 0 8 6 】

(付記 1 7) 前記第 1 の非線形光学媒質及び／又は前記第 2 の非線形光学媒質に入力する信号光を増幅する光増幅器を更に備えた付記 1 3 記載の装置。

【 0 0 8 7 】

(付記 1 8) 前記分散補償器は前記光増幅器で生じる波長分散を補償する手段を含む付記 1 7 記載の装置。

【 0 0 8 8 】

(付記 1 9) 前記第 2 の非線形光学媒質でスペクトルが拡大された信号光を通過させる光帯域通過フィルタを更に備えた付記 1 3 記載の装置。

【 0 0 8 9 】

(付記 2 0) 前記光帯域通過フィルタは前記拡大されたスペクトルより狭い通過帯域を有している付記 1 9 記載の装置。

【 0 0 9 0 】

(付記 2 1) 前記通過帯域の中心波長は前記信号光の波長とは異なり、それにより前記信号光の波形が改善される付記 2 0 記載の装置。

【 0 0 9 1 】

(付記 2 2) 前記通過帯域は前記スペクトルが拡大された信号光から光キャリアを抽出する程度に狭い付記 2 0 記載の装置。

【 0 0 9 2 】

(付記 2 3) 前記通過帯域は前記スペクトルが拡大された信号光からそのパルス列に同期したパルス列を抽出する程度に広い付記 2 0 記載の装置。

【 0 0 9 3 】

(付記 2 4) 前記通過帯域は複数ある付記 2 0 記載の装置。

【 0 0 9 4 】

(付記 2 5) 信号光を第 1 及び第 2 の信号光に分ける光カプラと、  
 前記第 1 の信号光に基きクロックパルスを生成する光クロック再生器と、  
 前記クロックパルス及び前記第 2 の信号光が入力され、これらの同期した信号光を出力する光 AND 回路と、  
 前記光 AND 回路から出力された信号光が入力する光信号処理装置とを備え、  
 前記光信号処理装置は、  
 前記信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第 1 の非線形光学媒質と、  
 処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償する分散補償器と、  
 前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第 2 の非線形光学媒質と、  
 前記第 2 の非線形光学媒質から出力された信号光が入力され、前記拡大されたスペクトルの中心波長と異なる中心波長の通過帯域を有する光帯域通過フィルタとを備えている装置。

【 0 0 9 5 】

(付記 2 6) 前記第 2 の信号光のパルス幅を拡大する波形整形器を更に備えた付記 2 5 記載の装置。

【 0 0 9 6 】

(付記 2 7) 信号光を伝送する第 1 の光ファイバ伝送路と、  
 前記第 1 の光ファイバ伝送路により伝送された信号光が入力する光信号処理装置と、  
 前記光信号処理装置から出力された信号光を伝送する第 2 の光ファイバ伝送路とを備え、  
 前記光信号処理装置は、  
 前記信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大する第 1 の非線形光学媒質と、  
 処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償する分散補償器と、

前記スペクトルを拡大された信号光が入力され、その内部で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大する第 2 の非線形光学媒質と、

前記第 2 の非線形光学媒質から出力された信号光が入力され、前記拡大されたスペクトルの中心波長と異なる中心波長の通過帯域を有する光帯域通過フィルタとを備えている装置。

【 0 0 9 7 】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によると、高い S/N 比及び大きいスペクトル拡散率を得ることができる SC 光の発生に適した光信号の処理方法及び装置の提供が可能になるという効果が生じる。これにより、多波長光源、波長変換、光 2 R 及び／又は 3 R 再生機能等を得るための光信号処理のための方法及び装置（システム）の提供が可能になる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

図 1 は本発明による装置の第 1 実施形態を示すブロック図である。

【図 2】

図 2 は本発明による装置の第 2 実施形態を示すブロック図である。

【図 3】

図 3 は本発明による装置の第 3 実施形態を示すブロック図である。

【図 4】

図 4 は本発明による装置の第 4 実施形態を示すブロック図である。

【図 5】

図 5 は本発明による装置の第 5 実施形態を示すブロック図である。

【図 6】

図 6 は本発明に適用可能なクロック発生器の実施形態を示すブロック図である。

【図 7】

図 7 は本発明に適用可能な波形整形器の実施形態を示すブロック図である。

【図 8】

図 8 は本発明に適用可能な非線形光ループミラー（NOLM）の実施形態を示すブロック図である。

【図 9】

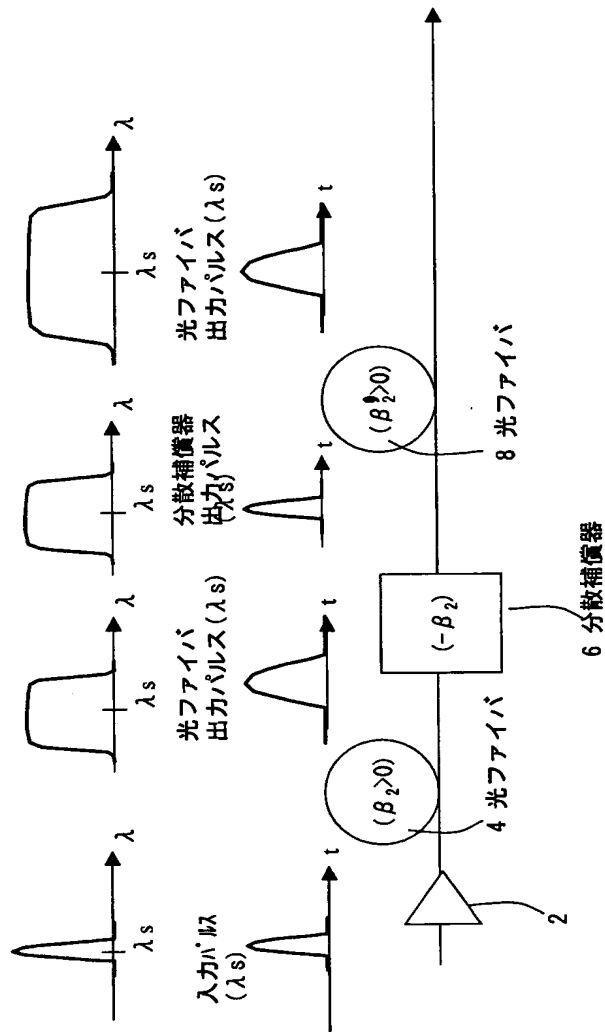
図 9 は本発明が適用される光ファイバ伝送システムの実施形態を示すブロック図である。

【符号の説明】

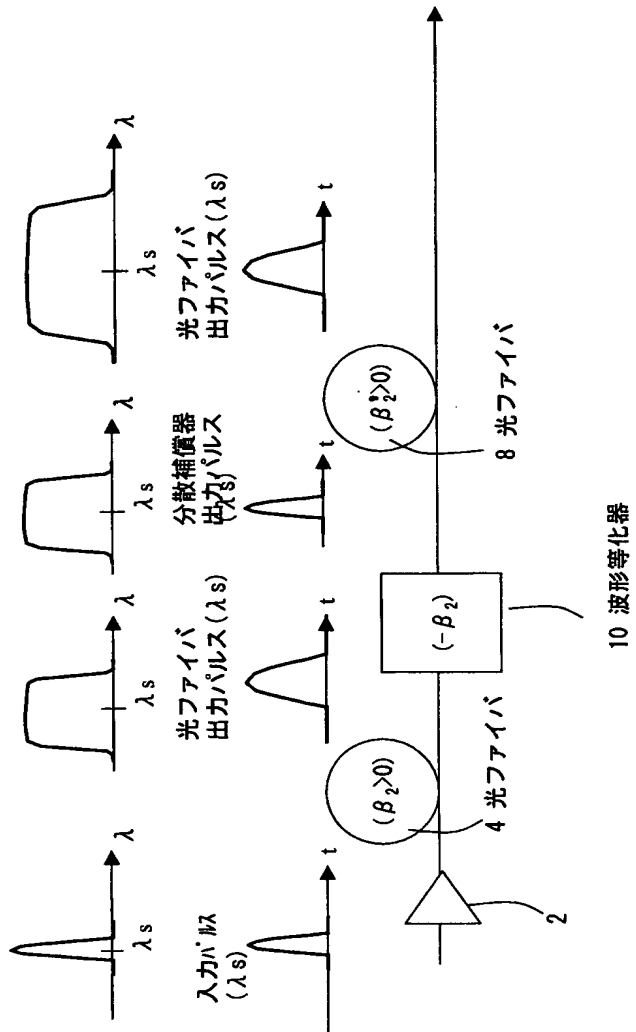
- 4, 8 光ファイバ
- 6 分散補償器
- 10 波形等価器
- 12, 14 光帯域通過フィルタ
- 24 光カプラ
- 26 波形整形器
- 28 光クロック再生器
- 30 光ANDゲート
- 32 波長変換器

【書類名】 図面

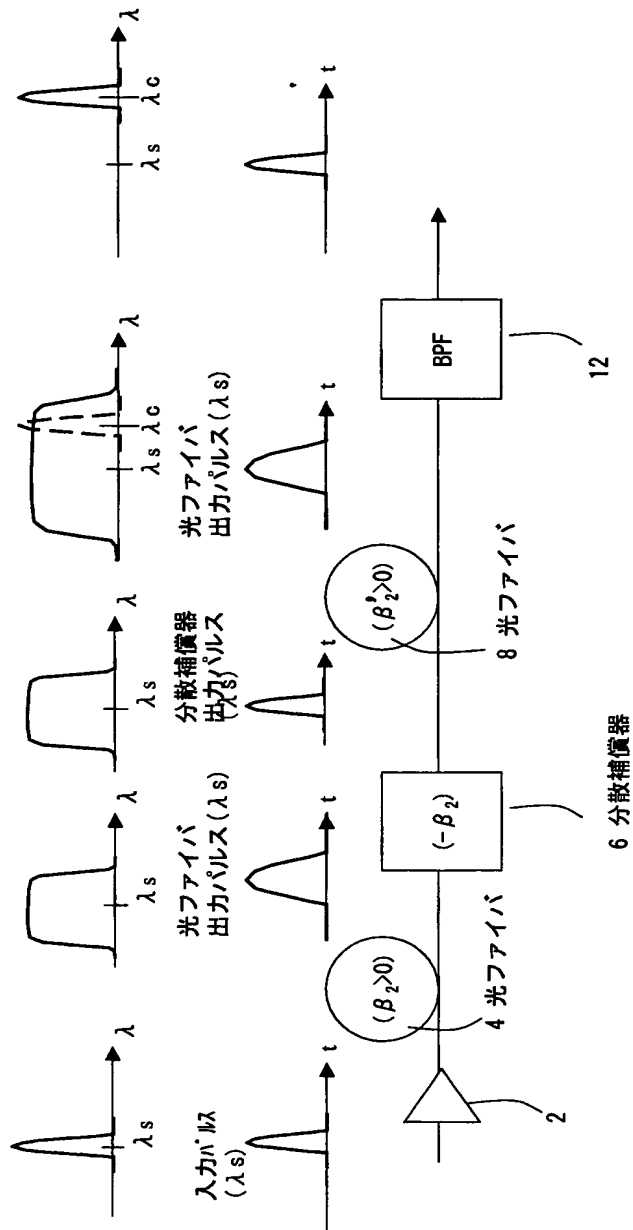
【図 1】



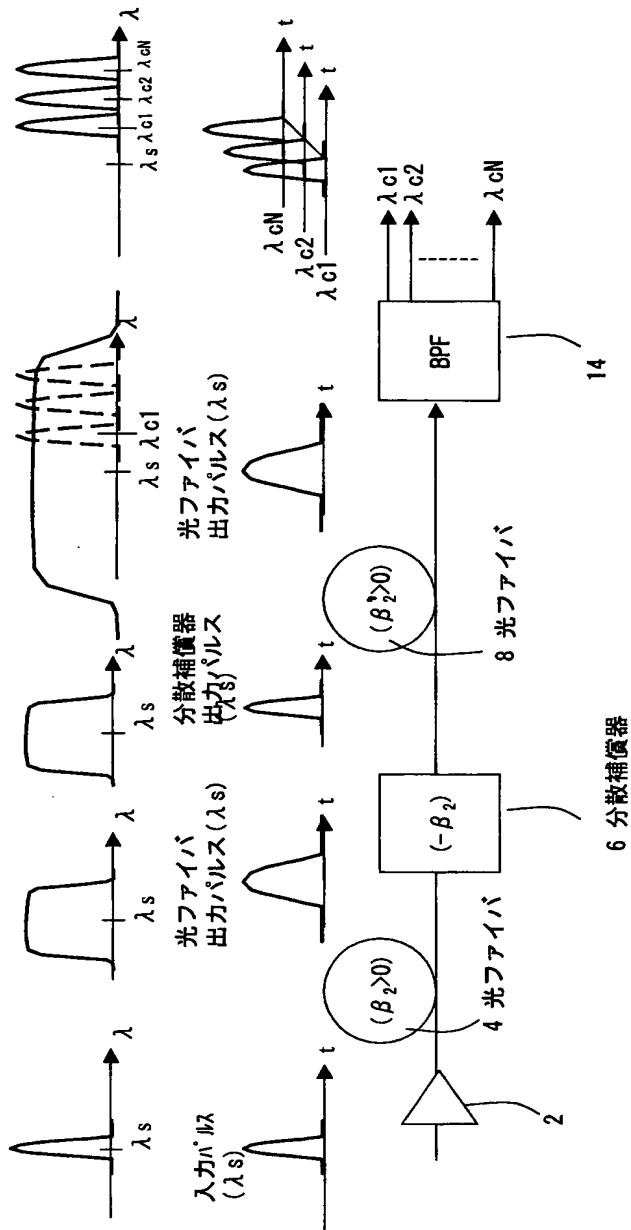
【図 2】



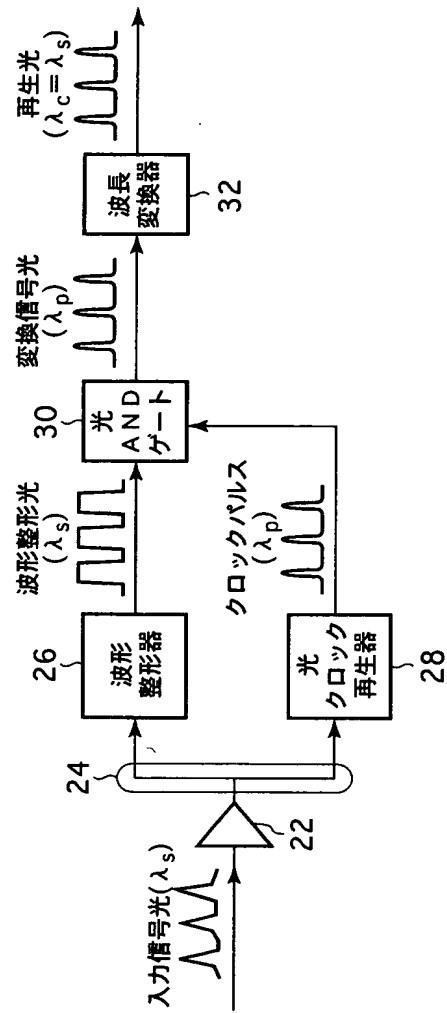
【図 3】



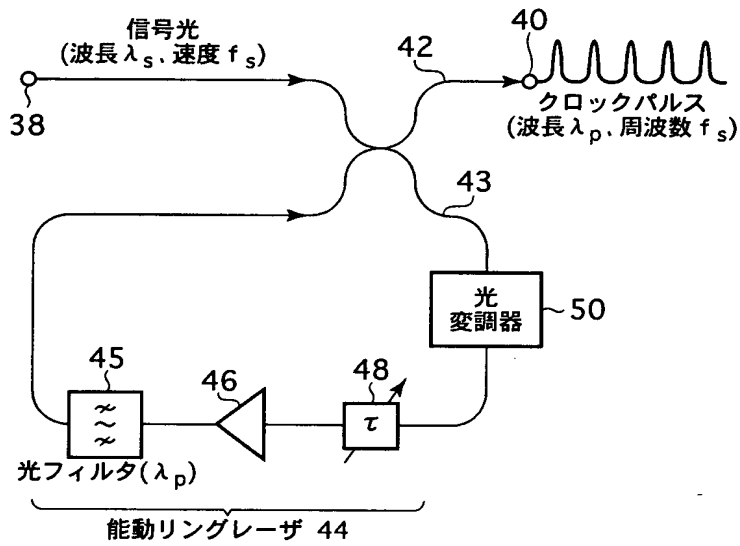
【図 4】



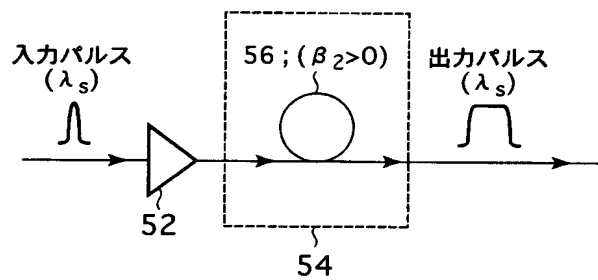
【図 5】



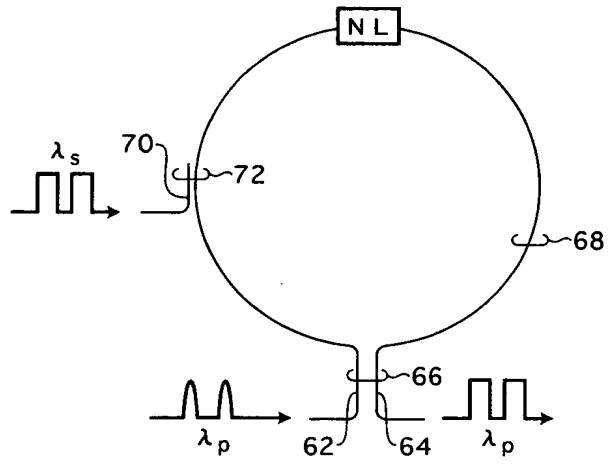
【図 6】



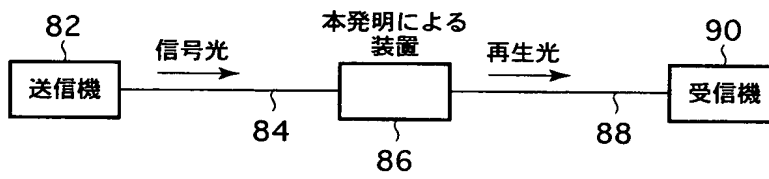
【図 7】



【図 8】



【図 9】



【書類名】            要約書

【要約】

【課題】    本発明は光信号を処理するための方法及び装置に関し、高い $S/N$ 比及び大きいスペクトル拡散率を得ることができる $SC$ 光の発生に適した光信号の処理方法及び装置を提供することが主な目的である。

【解決手段】    本発明による方法は、光信号を処理する方法であって、（a）信号光を第1の非線形光学媒質4に入力し、第1の非線形光学媒質4内で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを拡大するステップと、（b）前記処理の過程で信号光に対して生じる波長分散を補償するステップと、（c）前記ステップ（a）及び（b）を経た信号光を第2の非線形光学媒質8に入力し、第2の非線形光学媒質8内で発生する自己位相変調により信号光のスペクトルを更に拡大するステップとを備えている。

【選択図】            図1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

1. 変更年月日 1996年 3月26日  
[変更理由] 住所変更  
住 所 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号  
氏 名 富士通株式会社